

Vastaanottaja
Maaselkä Wind Oy

Asiakirjatyyppe
Raportti

Päivämäärä
5.12.2025

Viite
1510094881

MAASELÄN TUULIVOIMAPUISTON VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä **5.12.2025**
Laatija **Sofia Lybäck**
Tarkastaja **Ville Virtanen**

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 06/2024
aineistoa.

Viite 1510094881

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Vertailuarvot	1
3.	Vaikutusmekanismit	1
4.	Mallinnusmenetelmä ja lähtötiedot	2
4.1	Mallinnusohjelma ja laskentamalli	2
4.2	Väkelaskenta	2
4.3	Maastomalli	3
4.4	Tuulivoimalatiedot	3
4.5	Laskentojen epävarmuus	4
5.	Mallinnustulokset	4
6.	Yhteenveto ja johtopäätökset	5
LÄHTEET		5
LIITTEET		5

1. YLEISTÄ

OX2:n hankeyhtiö Maaselkä Wind Oy suunnittelee Utajärven kunnan alueelle Maaselän tuulivoimapuistoa. Tässä työssä tarkasteltiin Maaselän tuulivoimapuiston välkevaikutuksia sekä välkkeen yhteisvaikutuksia lähimpien tuulivoimahankkeiden kanssa. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Työ on tehty Maaselkä Wind Oy:n toimeksiannosta. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt Ramboll Finland Oy:stä suunnittelija ins.(AMK) Sofia Lybäck.

2. VERTAILUARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalle välkkeelle ei ole määritelty Suomessa raja- tai ohjearvoja. Ympäristöministeriön julkistamassa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaassa suositellaan käyttämään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen rajoittamisesta. ^[1]

Eri maissa on annettu suunnitteluarvoja tai raja-arvoja välkkeen määrälle asutukselle tai muille altistuville kohteille. Saksassa on annettu ohjeistus (WEA-Schattenwurf-Hinweise) mallintamiseen sekä raja-arvot maksimivälketilanteessa (Worst Case) sekä todellisessa tilanteessa (Real Case) ^[2]. Ruotsalaisessa suunnitteluohjeistuksessa viitataan saksalaiseen ohjeistukseen ja suositukset perustuvat pitkälti saksalaiseen ohjeistukseen ^[3]. Tanskassa on ohjeistuksena annettu, että vuotuisen todellinen välkemäärä tulee rajoittaa kymmeneen tuntiin vuodessa ^[4].

Taulukko 1. Esimerkkejä muiden maiden suosituksista ja raja-arvoista välkkeen esiintymisen osalta

Maa	Real Case	Worst Case
Saksa	8 tuntia/vuosi	30 tuntia/vuosi 30 min/päivä
Ruotsi	8 tuntia/vuosi 30 min/päivä	-
Tanska	10 tuntia/vuosi	-

3. VAIKUTUSMEKANISMIT

Toiminnassa olevat tuulivoimalat voivat aiheuttaa liikkuvaa varjoa eli välkettä ympäristöönsä, kun auringon säteet suuntautuvat tuulivoimalan lapojen takaa tiettyyn katselupisteeseen. Tällöin roottorin lapojen pyöriminen aiheuttaa liikkuvan varjon, ja varjojen liikkumisnopeus riippuu roottorin pyörimisnopeudesta.

Välkevaikutus syntyy sääolojen, vuodenajan ja vuorokauden ajan mukaan, joten välkettä on havaittavissa tietyssä katselupisteessä vain tiettyjen valaistusolosuhteiden täytyessä ja tiettyinä aikoina vuorokaudesta ja vuodesta. Välkettä ei esiinny, kun aurinko on pilvessä tai kun tuulivoimala ei ole käynnissä, tai auringon asema on välkkeen muodostumiselle epäedullinen. Myös tuulen suunnalla on vaikutusta varjon muodostukselle. Poikittain aurinkoon oleva voimala aiheuttaa erilaisen varjon kuin kohtisuoraan aurinkoon suuntautunut voimala.

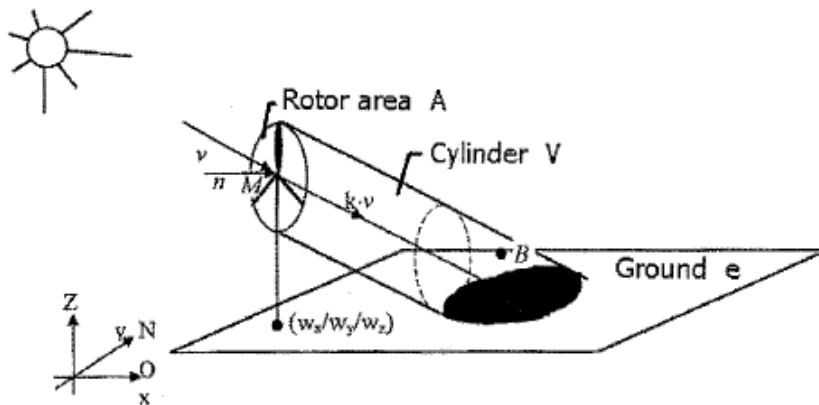
Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan muodosta sekä alueellisista sääolosuhteista sekä maasto-olosuhteista (metsä, mäki jne.).

4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen esiintymisalue ja esiintymistiheys laskettiin EMD WindPRO 4.0 -ohjelman Shadow -moduulilla, joka laskee kuinka usein ja minkälaisina jaksoina tietty kohde on tuulivoimaloiden luoman liikkuvan varjon alaisena. Ohjelma on yleisesti käytössä tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen mallinnuksessa. Lisätietoja ohjelmasta ja laskentamallin kuvauksen saa internet-osoitteesta <http://www.emd.dk/> löytyvästä ohjelman käyttöohjeesta [5].

Ohjelmalla voidaan tehdä kahdentyyppisiä laskentoja, ns. Pahin tilanne (*Worst Case*)- ja Todellinen tilanne (*Real Case*) -laskelmia. Välkevyöhykekartan lisäksi ohjelmalla voidaan laskea yksittäisiin reseptoripisteisiin kohdistuvaa välkevaikutusta.



Kuva 1. Tuulivoimalan aiheuttaman liikkuvan varjon alue [5]

4.2 Välkelaskenta

Laskentapisteen väliseksi etäisyydeksi määritettiin 10 metriä. Laskennan tarkastelukorkeutena käytettiin 1,5 metriä, eli noin ihmisen silmäkorkeutta. Laskennassa käytetyn saksalaisen ohjeistuksen (joka on yleisesti käytössä oleva laskentatapa) mukaan välkevaikutusta laskettaessa auringonpaistekulman raja horisontista on kolme astetta, jonka alle menevää auringon säteilyä ei oteta huomioon ja laskennassa roottorin lavan tulee peittää vähintään 20 % auringosta [2].

Mallinnuksessa ei huomioida puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaikutusta, jotka voivat rajoittaa merkittävästi välkkeen esiintyvyyttä maanpinnan tasolla.

Worst Case -laskenta antaa teoreettisen maksimivälkemäärän. Laskenta olettaa auringon paistavan koko ajan (auringonnoususta auringonlaskuun) ja tuulivoimaloiden oletetaan käyvän koko ajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä. Worst Case -laskennan vuosi-arvot eivät siten vastaa tulevaa todellista vuositaitaista välkevaikutusta tuulivoimaloiden ympäristössä.

Real Case -laskennoissa huomioidaan alueen tuulisuus- ja auringonpaistetiedot. Worst case -tulokista tehdään vähennykset auringonpaistetietoihin ja käyttötuntitietoihin (tuulensuunta sektoreittain) perustuen, josta saadaan Real case -tulos. Auringonpaisteisuustietona käytettiin Ilmatieteen laitoksen Oulun lentoaseman Oulunsalon sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuisiksi toiminta-ajaksi määritettiin Suomen Tuuliatlaksen tiedoista 96 %. Toiminta-ajat laskettiin 12 suuntasektorille olettaen, että tuulivoimalat toimivat tuulennopeuden ollessa napakorkeudella yli 3 m/s.

Taulukko 2 Real Case -laskennassa käytetyt keskimääräiset auringonpaisteisuustunnit eri kuukausina (tuntia päivässä)

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
0,77	2,46	4,42	6,93	8,81	9,87	9,13	6,84	4,43	2,23	0,93	0,26

Taulukko 3. Real Case -laskennassa käytetty vuotuinen toiminnallinen aika (tuntia vuodessa) tuulensuuntasektoreittain

N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Sum
699	547	364	309	461	599	960	1654	970	708	579	524	8374

Real Case -välkevyöhykelaskennan lisäksi laskentoja tehtiin myös yksittäisiin reseptoripisteisiin hankealueen ympäristössä.

4.3 Maastomalli

Maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen korkeusmalliaineistosta. Maastomallissa ei huomioitu puustoa tai rakennuksia.

4.4 Tuulivoimalatiedot

Laskennoissa huomioitiin Maaselän tuulivoimalat taulukon 4 mukaisilla sijainneilla. Lisäksi yhteismallinnuksessa huomioitiin alueen lähimpien tuulivoimahankkeiden tuulivoimalat.

Välkemallinnuksessa käytettiin Vestas V172 6.8 MW voimalamallia. Voimaloiden napakorkeutena käytettiin 175 metriä ja roottorin halkaisija oli 180 metriä. Roottorikoon ja napakorkeuden lisäksi myös lavan muoto ja leveys vaikuttavat maksimivälke-etäisyyteen, joka mallinnusohjelman mukaan on tälle laitosmallille noin 2071 metriä. Lavan leveystietoina käytettiin:

- Max blade width = 4,6 m
- Blade width for 90 % radius = 1,5 m

Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN)

Voimala	X	Y
1	481005	7192015
2	479700	7192083
3	480299	7191525
4	480990	7191090
5	481670	7190900
6	482265	7190525
7	481070	7190230

4.5 Laskentojen epävarmuus

Koska Worst Case -laskenta perustuu auringon asemaan suhteessa tuulivoimalaitokseen ja tarkastelupisteeseen, voidaan laskennan tarkkuutta pitää hyvinkin luotettavana, kun määritetään välikkeen mahdollisia esiintymisajankohtia. Kun tarkoituksena on ennustaa todellista välikkeen esiintyvyyttä alueella vuoden aikana, ei Worst Case -mallinnus vastaa todellisuutta.

Real Case -mallinnuksessa käytetään keskimääräisiä auringonpaisteisuustietoja ja Tuuliatlaksen mukaan määritettyjä tuulen suuntien toiminnallisia aikoja. Mallinnuksen mukainen Real case -tulos kuvaa tavanomaisen vuoden tilannetta. Välkevaikutusten todellinen tilanne siis vaihtelee eri vuosina, koska välikkeen esiintyminen tietyssä katselupisteessä tietyllä hetkellä edellyttää, että

- aurinko paistaa tuulivoimalaitosten roottorin takaa tarkastelupisteeseen
- tuulivoimala pyörii ja tuulivoimalan roottorin asento mahdollistaa liikkuvan varjon synty-
misen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntyminen

Real Case -mallinnuksessa tuotetaan paras mahdollinen ennuste tulevasta väkertilanteesta alueella. Mallissa ei kuitenkaan huomioida rakennusten ja puuston peitevaikutusta. Jos tuulivoimalat eivät ole nähtävissä, eivät ne myöskään aiheuta välkevaikutuksia.

5. MALLINNUSTULOKSET

Maaselän tuulivoimahankkeen välikkeen esiintymiskartta on esitetty liitteessä 1. Yhteismallinnuksen mukainen välikkeen esiintymiskartta on esitetty liitteessä 2. Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja 3 reseptoripisteeseen, joiden sijainnit on esitetty liitteinä olevissa välkekartoissa ja tulokset taulukossa 5.

Maaselän tuulivoimaloista aiheutuvat vuotuiset väkემäärät eivät ylittäneet 8 tunnin väkემäärää yhdessäkään reseptoripisteessä. Maaselän ja lähialueen tuulivoimaloiden yhteismallinnuksessa ei ylitetä 8 tunnin väkემäärää reseptoripisteissä.

Taulukko 5. Reseptoripistelaskentojen tulokset.

Reseptori	Maaselkä Real Case, h / a *	Yhteismallinnus, Pontema ja Tornikangas VE1 Real Case, h / a *
1	2:26	2:26
2	2:13	2:13
3	7:18	7:18

*tuntia vuodessa

Potentiaaliset välikkeen esiintymisajankohdat reseptorissa on esitetty liitteissä 3-4.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnuksella tarkasteltiin Maaselän alueelle suunniteltujen tuulivoimaloiden välkevaikutuksia tuulivoimaloiden ympäristössä. Laitosmallin napakorkeutena käytettiin 175 m ja roottorin halkaisijana 180 m, josta yhteenlaskettuna tuulivoimalan kokonaiskorkeudeksi tulee enimmäiskokonaiskorkeus 265 m. Voimaladimensioista roottorin läpimitalla ja lavan paksuudella, on merkittävin vaikutus välkemääriin ympäristössä. Mikäli rakennettava tuulivoimalaitos on mitoiltaan pienempi, ovat välkevaikutukset mallinnettuja vähäisempiä.

Mallinnuksen mukaan Maaselän tuulivoimahankkeen ympäristössä ei jää yhtäkään reseptoripistettä välkevaikutusalueelle, jossa vuotuinen välkemäärä ylittää 8 tuntia. Maaselän ja lähialueen tuulivoimaloiden yhteismallinnuksessa ei ylitetä 8 tunnin välkemäärä yhdenkään reseptoripisteen kohdalla.

Välkkeen määrän lisäksi myös välkynnän ajankohdalla (vuoden- ja kellonaika) sekä kiinteistön käyttötavalla ja -tarkoituksella on vaikutusta potentiaalisen häiriön muodostumiseen ja kokemiin.

Vuosittaiseen todelliseen välkevaikutukseen vaikuttaa, kuinka tarkkaan vuosittainen tuulivoimaloiden toiminta ja sääolosuhteet vastaavat mallinnuksessa käytettyjä arvoja, sekä lisäksi muun muassa voimaloiden näkyminen tai näkymisen estyminen esimerkiksi puuston tai rakennusten vuoksi. Rakennusten ohella myös puustovyöhykkeet rajoittavat välkevaikutuksia ympäristössä, mutta puuston on kuitenkin oltava riittävän tiheää ja korkeata sekä suojattava altistuvaa kohdetta kattavasti. Myös vuodenajan vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näkyvyyttä. Jos tuulivoimalat eivät näy häiriintyvään kohteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu.

Suomen säädöksissä ei ole määritetty sitovia ohje- tai raja-arvoja tuulivoimaloiden aiheuttamalle välkkeelle. Mikäli tuulivoimaloiden todetaan aiheuttavan välkettä eniten altistuvien kohteiden luona puuston peitteisyyden vähäisyydestä johtuen yli sallitun rajan, tulisi välkevaikutuksien vähentämiseksi tiettyjen voimaloiden toimintaa rajoittaa. Rajoitustoimet tulee kohdistaa voimaloihin, joilla on suurin vaikutus välkealueen ympäristön asuinrakennusten välkemäärään.

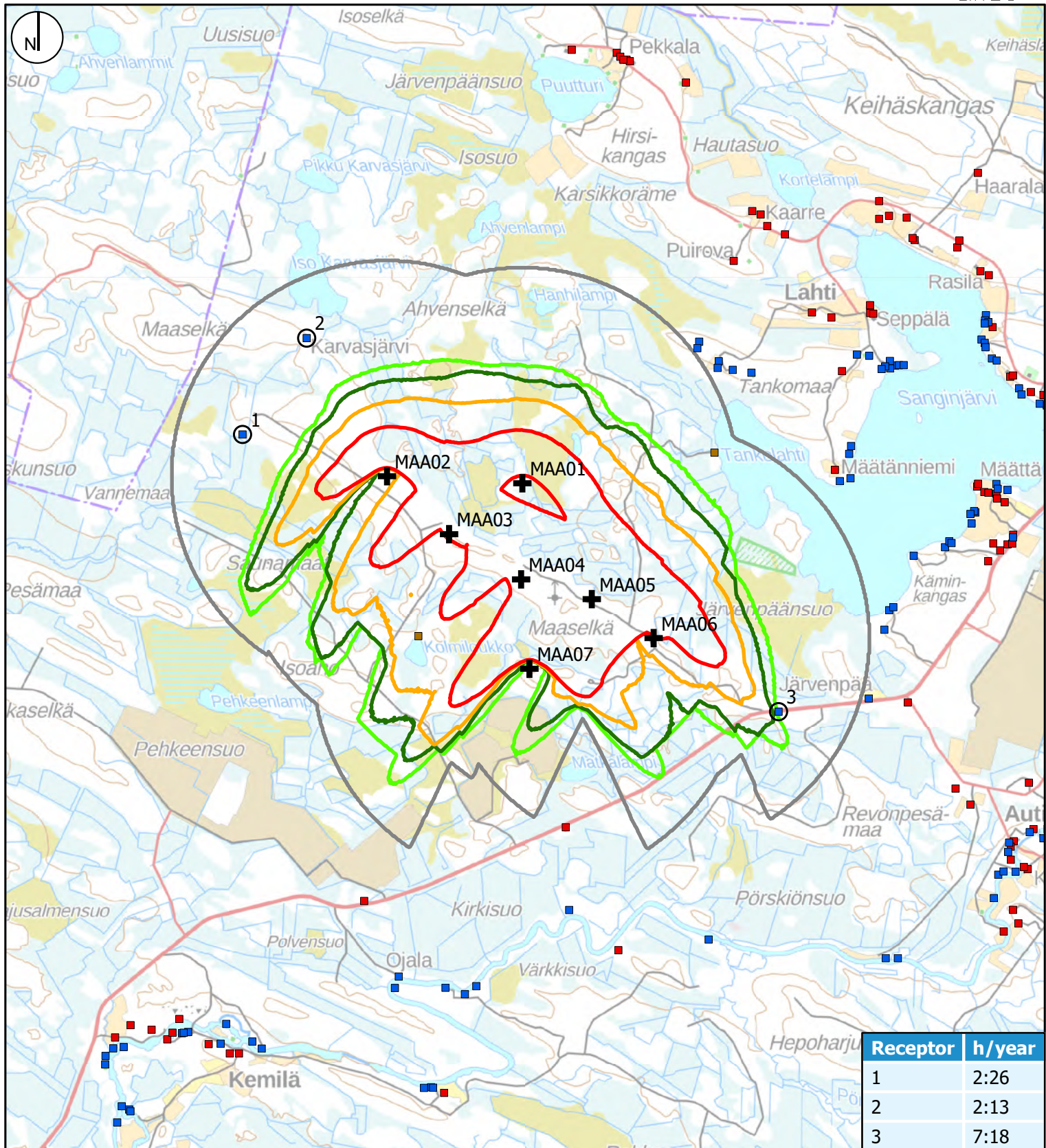
Välkkeen syntyyn voidaan vaikuttaa tuulivoimalaan liitettävällä teknisellä ohjauksella. Järjestelmä monitoroi jatkuvasti ja automaattisesti välkkeen muodostumista voimalan nasellin päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla. Järjestelmä laskee muodostumisen mahdollisuutta tietyssä suunnassa valoisuuden ja roottorin asennon mukaan ja järjestelmä pysäyttää tuulivoimalan, kun ennalta asetettu välkemäärän raja saavutetaan. Ohjaustarve on vuositasolla ajallisesti vähäinen, eikä siten vaikutus voimalan vuotuisen sähkön tuottoon ole suuri.

LÄHTEET

1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
2. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise
3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, Boverket 2009
4. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2015
5. WindPRO 4.0 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1911-2020 Raportteja 2021:8
7. Suomen Tuuliatlas

LIITTEET

- | | |
|---------|---|
| Liite 1 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet |
| Liite 2 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet, Yhteismallinnus |
| Liite 3 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä |
| Liite 4 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä, Yhteismallinnus |


RAMBOLL

 Väckemallinnus
(WindPro 4.0)

 Maaselkä Wind Oy
Maaselän tuulivoimahanke

 Layout 7 WTG
Vestas V172
Napakorkeus (HH): 175 m
Roottorin halkaisija (RD): 180 m
Kokonaiskorkeus (TH): 265 m

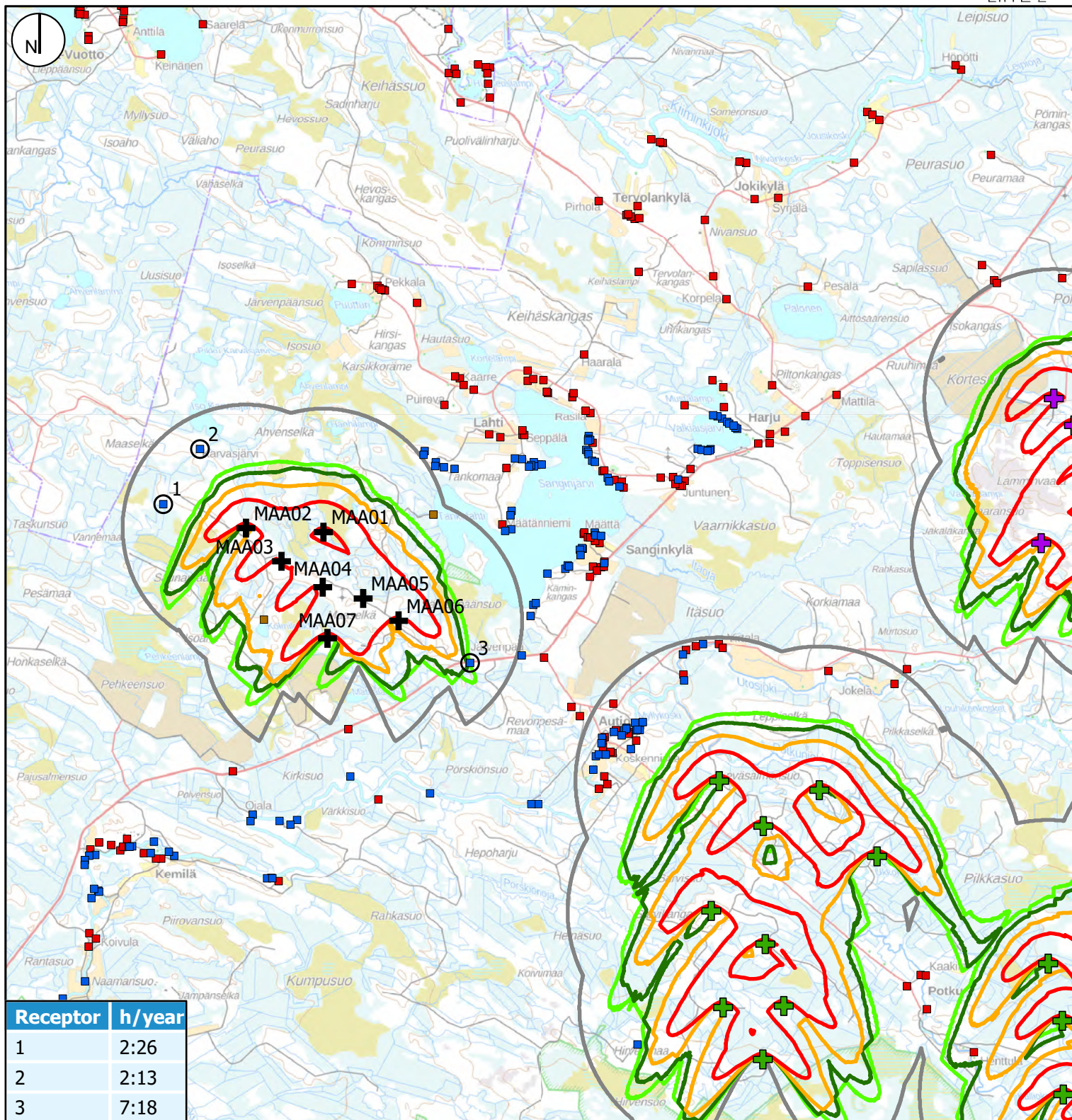
 Välletuntia vuodessa
Real Case -mallinnus

 — 0
— 8
— 10
— 15
— 30

 + Maaselän voimalat
○ Reseptorit
■ Asuinrakennus
■ Lomarakennus
■ Metsästysmaja

 Mittakaava (A4): 1:50 000
0 0,5 1 2 km

05.12.2025 SLy


RAMBOLL

Maaselkä Wind Oy
Maaselän tuulivoimahanke

Yhteisvälkemallinnus
(WindPro 4.0)

05.12.2025 SLy

Mittakaava (A4): 1:90 000

0 1 2 4 km

Maaselkä 7 WTG

Vestas V172-6.0

Napakorkeus (HH): 175 m

Roottorin halkaisija (RD): 180 m

Kokonaiskorkeus (TH): 265 m

Tornikangas VE3 17 WTG

SG200 9.1

Napakorkeus (HH): 200 m

Roottorin halkaisija (RD): 200 m

Kokonaiskorkeus (TH): 300 m

Pontema 29 WTG

Nordex N175 6.8

Napakorkeus (HH): 205 m

Roottorin halkaisija (RD): 190 m

Kokonaiskorkeus (TH): 300 m

Välketuntia vuodessa

Real Case -mallinnus

— 0

— 8

— 10

— 15

— 30

✚ Maaselän voimalat

✚ Tornikankaan voimalat

✚ Ponteman voimalat

○ Reseptorit

■ Asuinrakennus

■ Lomarakennus

■ Metsästysmaja

Project:

Maaselka_valkemaalinnus

Licensed user:

Ramboll Deutschland GmbH

Elisabeth-Consruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

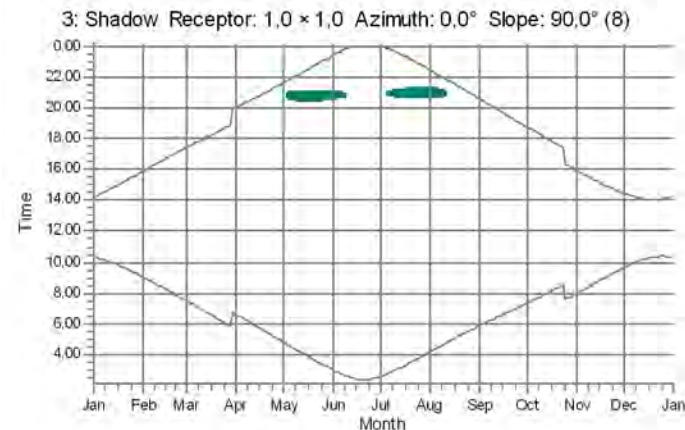
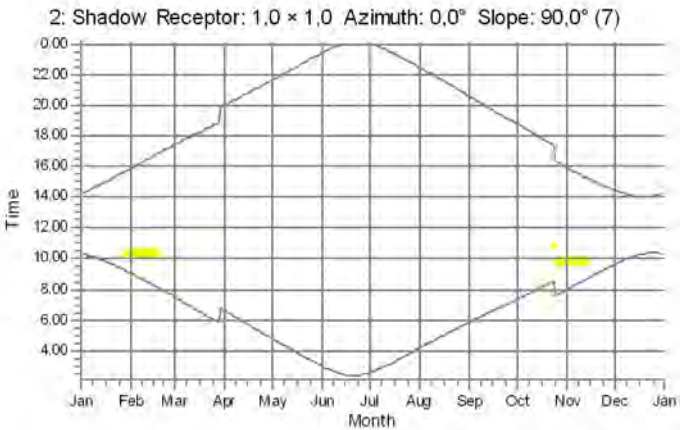
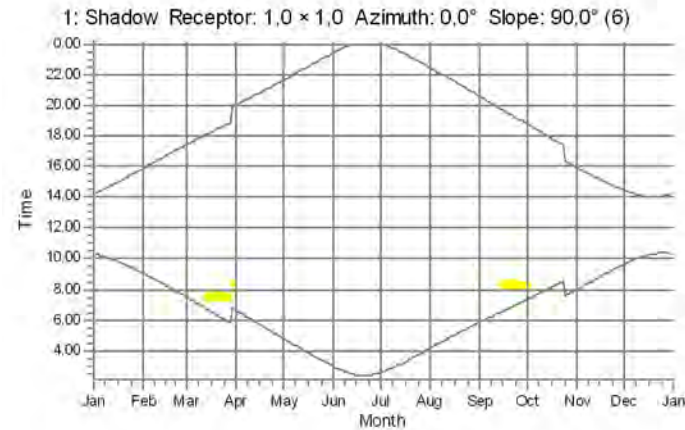
Sofia Lybäck / sofia.lyback@ramboll.fi

Calculated:

4.12.2025 16.23/4.0.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Maaselka_mallinnus_04122025_reseptorit



WTGs

MAA02: VESTAS V172-6.8 HH175RD180 6800 180.0 !O! hub: 175,0 m (TOT: 265,0 m) (88)
MAA06: VESTAS V172-6.8 HH175RD180 6800 180.0 !O! hub: 175,0 m (TOT: 265,0 m) (92)

Project:

Maaselka_valkemaalinnus

Licensed user:

Ramboll Deutschland GmbH

Elisabeth-Consruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

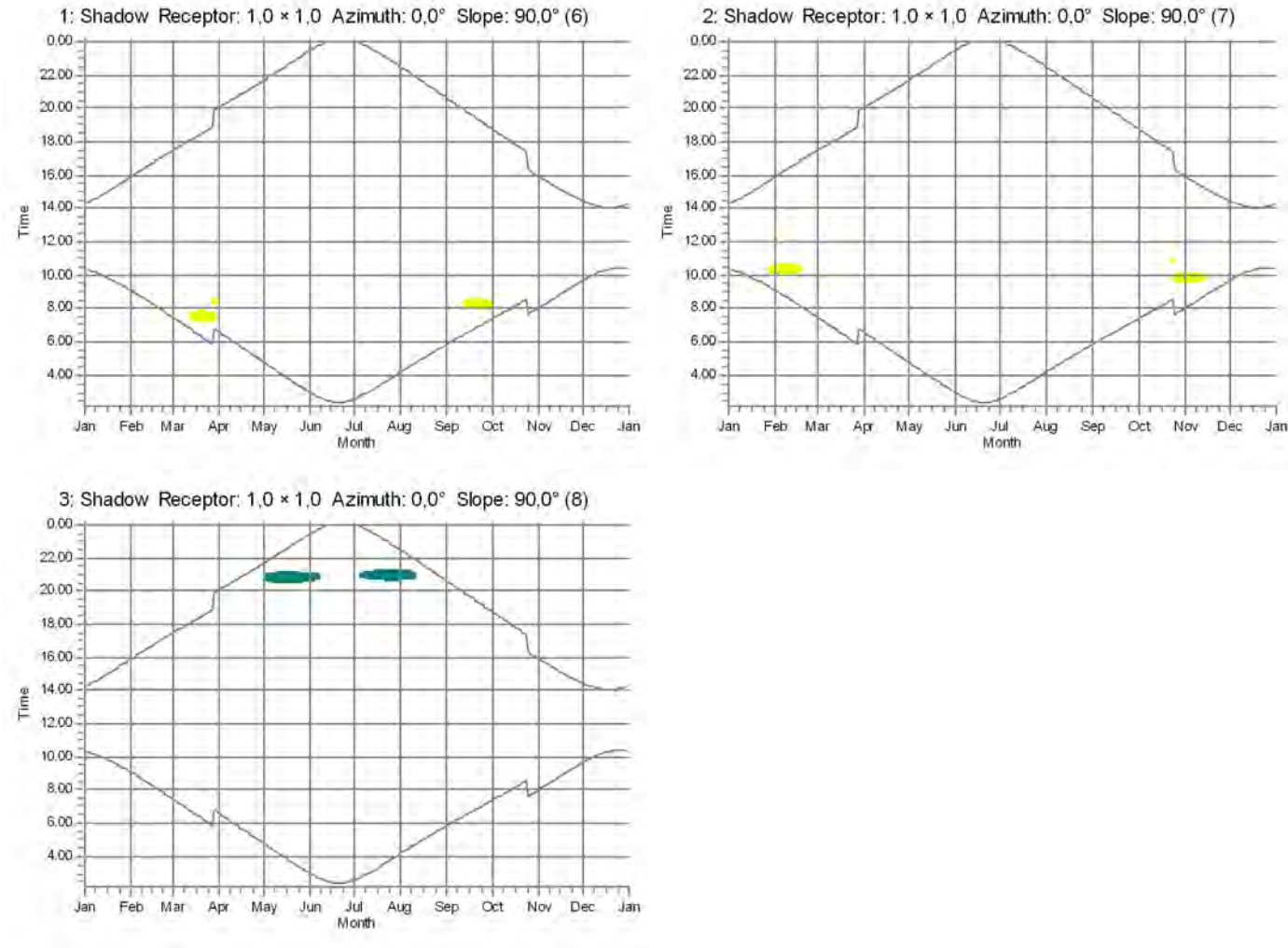
Sofia Lybäck / sofia.lyback@ramboll.fi

Calculated:

5.12.2025 10.58/4.0.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Maaselka_yhteismallinnus_Pontema_Tornikangas_05122025



WTGs

MAA02: VESTAS V172-6.8 H4175RD180 6800 180.0 IOI hub: 175.0 m (TOT: 265.0 m) (88)

MAA06: VESTAS V172-6.8 H4175RD180 6800 180.0 IOI hub: 175.0 m (TOT: 265.0 m) (92)